



“ 半導体ナノ粒子 新しい発光材料をめざして ”

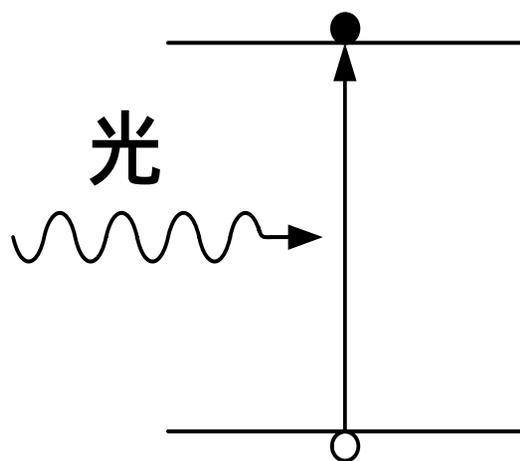
奈良先端科学技術大学院大学
物質創成科学研究科 量子物性科学講座

山本愛士

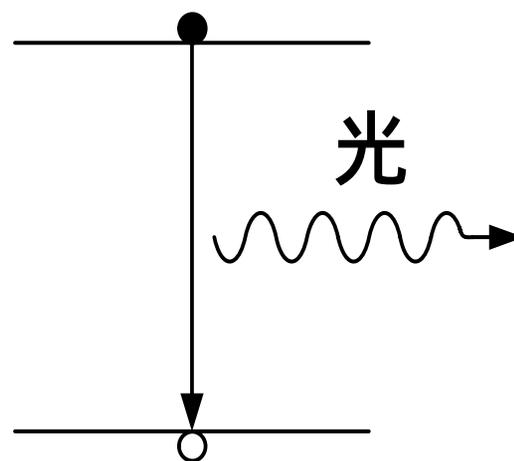
発表内容

1. はじめに：光の吸収と発光
2. 半導体と光の密接な関係
3. ナノメートルサイズの半導体
(量子サイズ効果)
4. 酸化亜鉛ナノ粒子の発光特性
 1. 酸化亜鉛の特徴
 2. 単一ナノ粒子発光測定

はじめに：光の吸収と発光



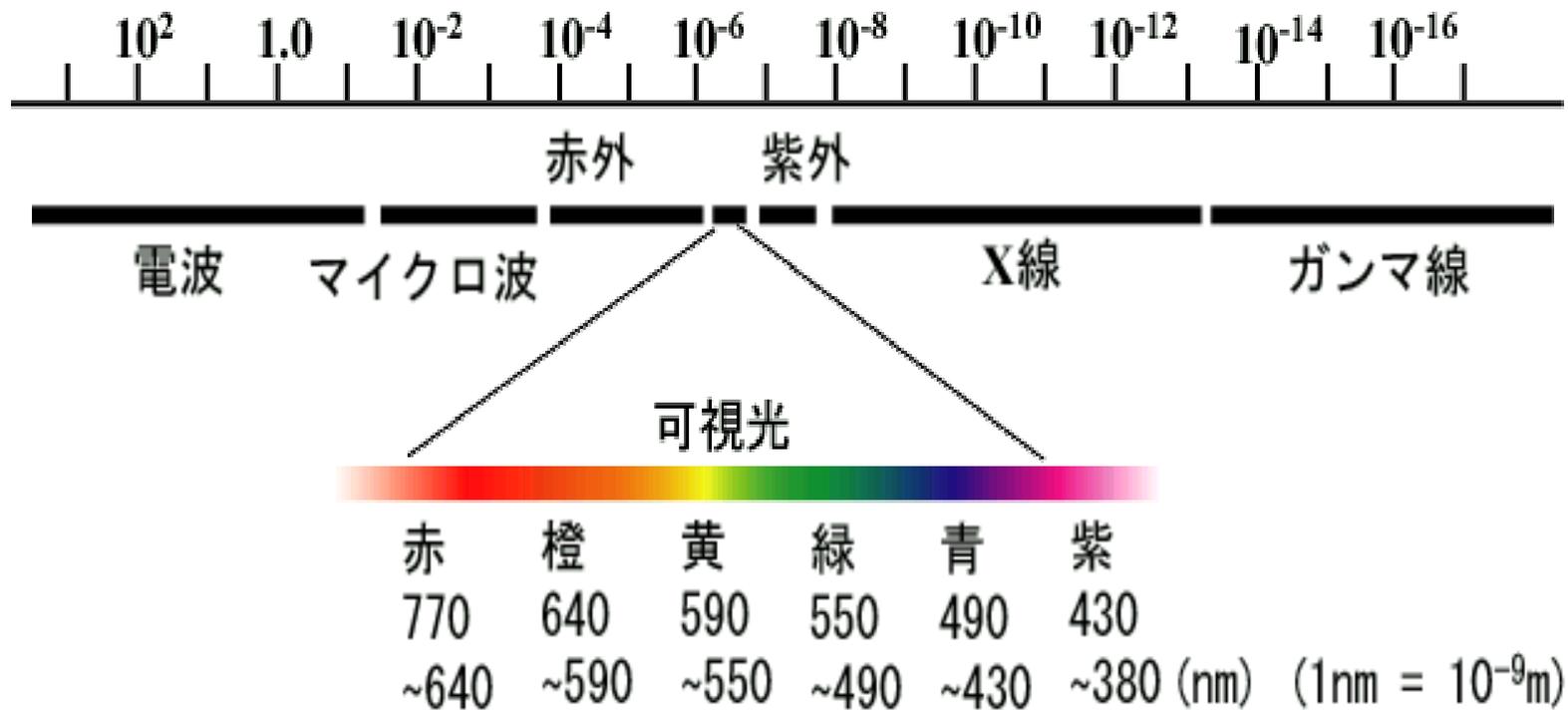
吸収



発光

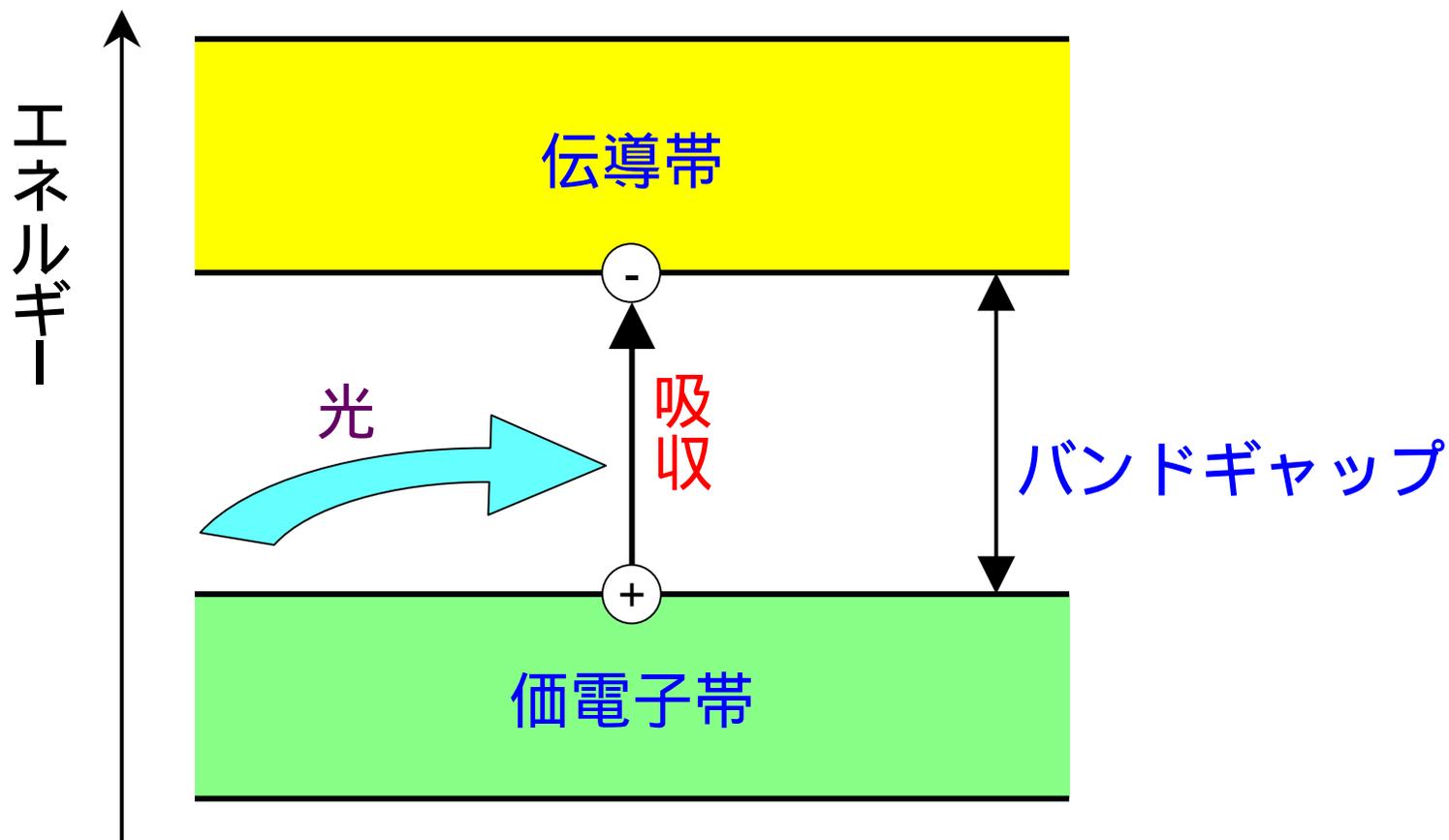
光と波長（エネルギー）

波長 (m)

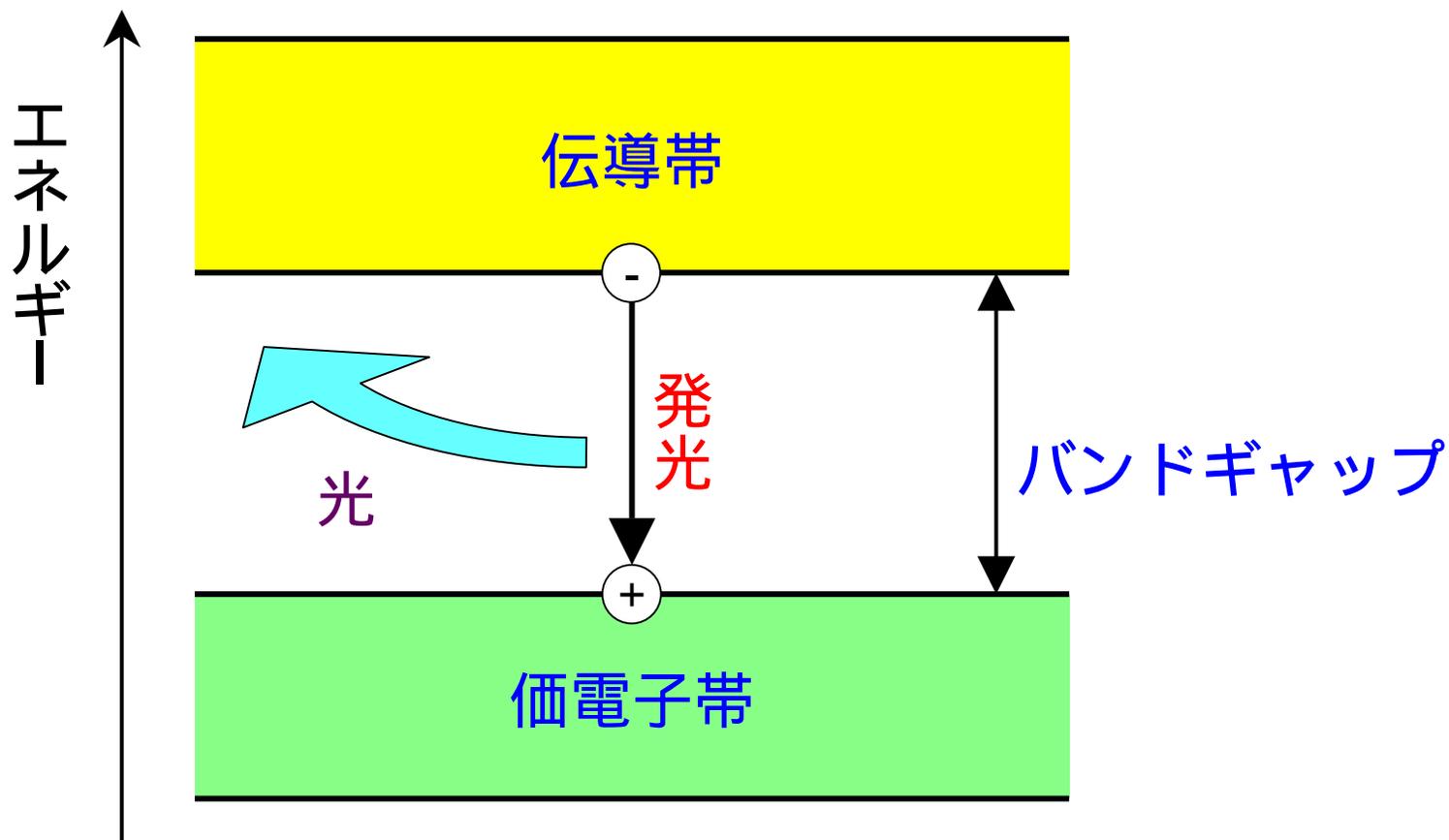


小 エネルギー 大

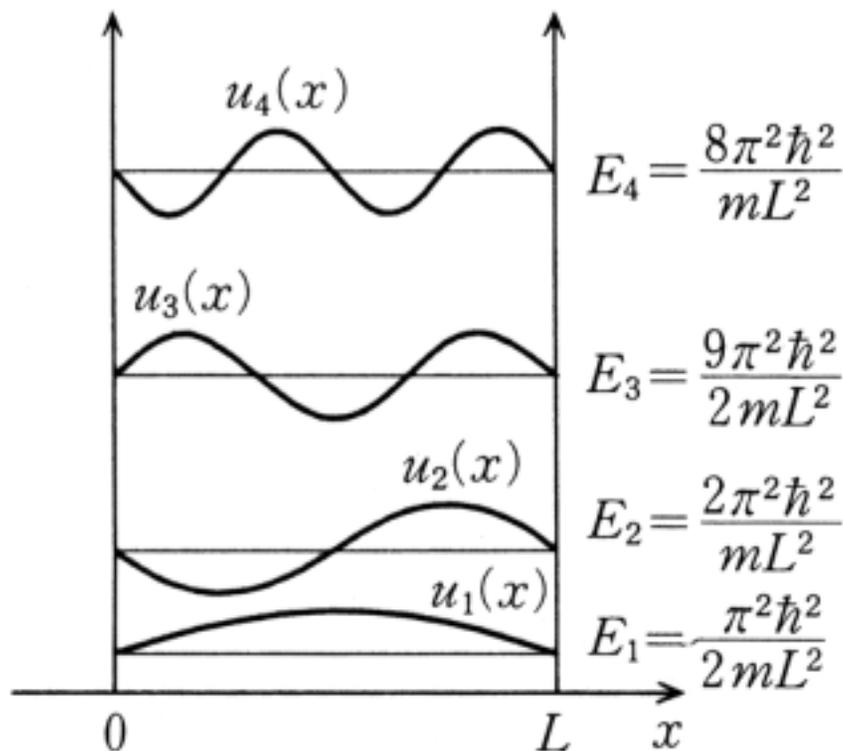
半導体における吸収



半導体における発光



量子サイズ効果



$$u_n(x) = A \sin \frac{n\pi}{L} x$$

$$E_n = \frac{\hbar^2}{2m^*} \left(\frac{n\pi}{L} \right)^2$$

$$k = n\pi/L$$

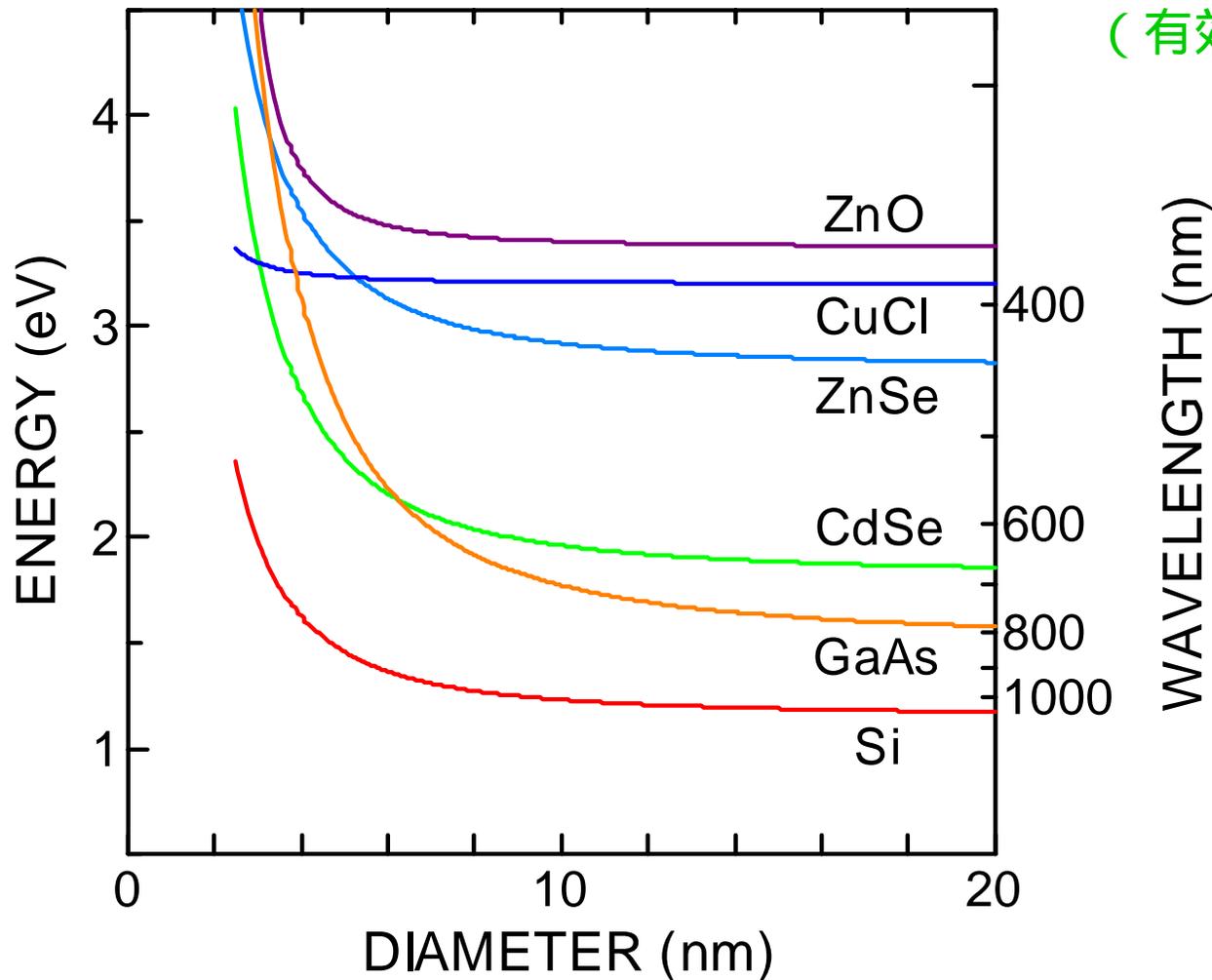
バルク (Lが非常に大きい) の場合、波数 k は、連続的な値。

$$E(k) = \frac{\hbar^2}{2m^*} k^2$$

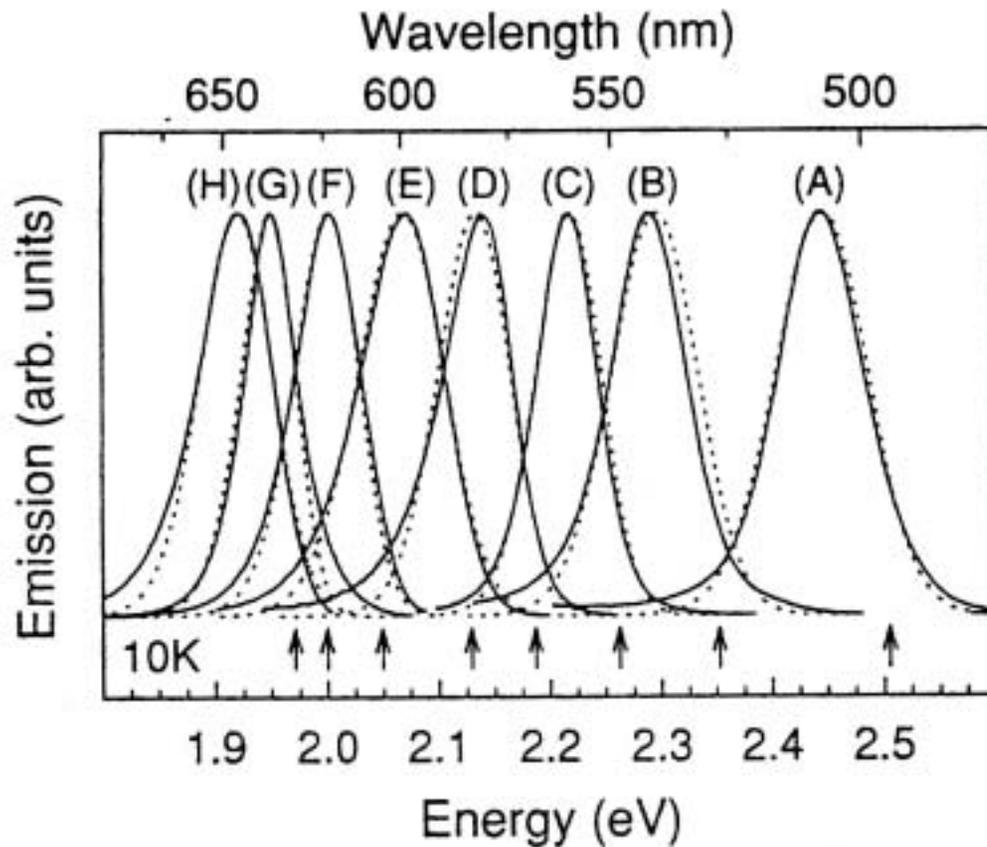
バンドギャップエネルギーの サイズ依存性



量子サイズ効果
(有効質量近似)

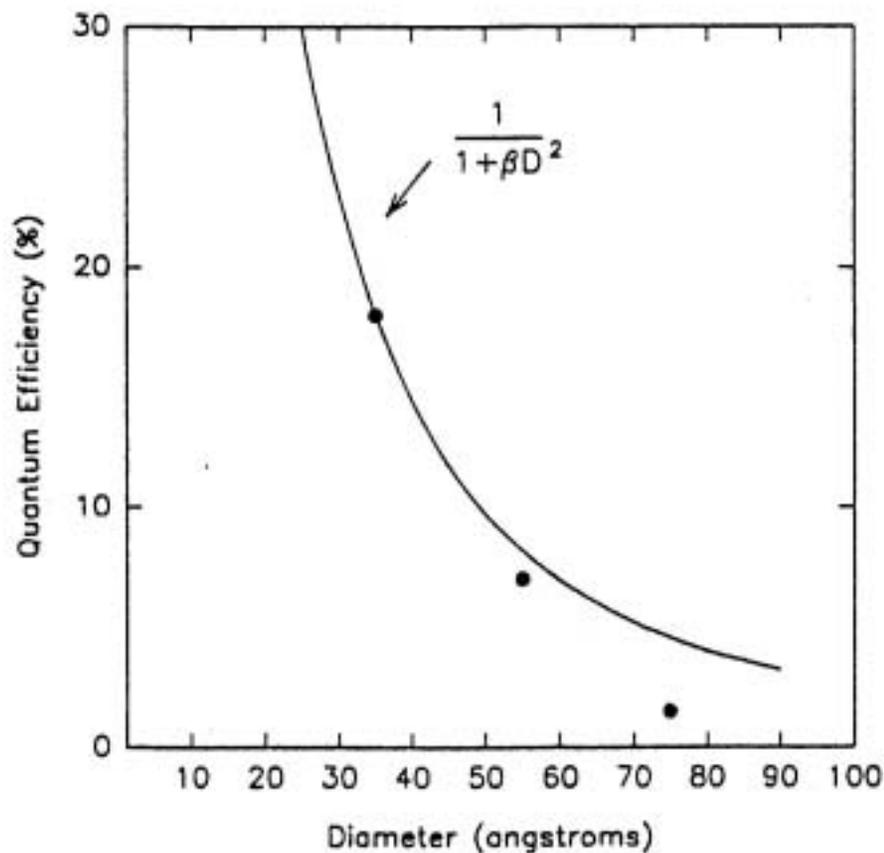


量子サイズ効果（波長可変）



- CdSeナノ微粒子の発光スペクトル
- サイズ 小
発光波長 短

不純物を埋め込んだナノ粒子



- Mnを埋め込んだZnSナノ粒子の発光効率
- サイズ 小
発光効率 大

研究の概要

□ 新しい半導体ナノ粒子

- 資源、環境 ZnO、Si、ZnSナノ粒子

□ 高効率発光材料

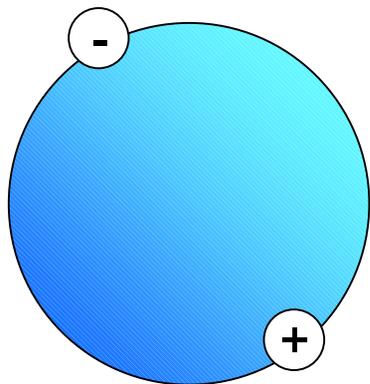
- 不純物を埋め込んだ半導体ナノ粒子

□ 光機能性の評価

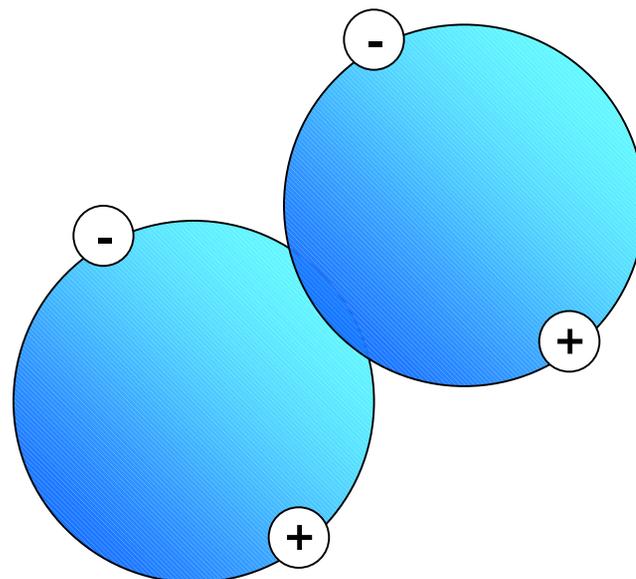
- 基礎的光学測定(吸収、反射、発光スペクトル)
- 単一ナノ粒子発光測定

励起子 · 励起子分子

励起子



励起子分子



酸化亜鉛 (ZnO) について

□ ワイドバンドギャップ半導体

- $E_g \sim 3.37 \text{ eV (RT)}$: $\lambda \sim 370 \text{ nm}$

□ 大きな励起子結合エネルギー (60 meV)

- 室温でも安定
- 励起子分子の結合エネルギーも大きい (15 meV)

□ 環境にやさしい物質

- 化粧品 (紫外線カット)

短波長領域の次世代光学素子材料

酸化亜鉛薄膜の研究

□ 光励起による室温レーザー発振の観測

- P. Zu et al., Solid State Commun. 103, 459 (1997).
- D. M. Bagnall et al., Appl. Phys. Lett. 70, 2230 (1997).

□ 発光ダイオード

- A. Tsukazaki et al., Nature Materials, 4, 42 (2005).

酸化亜鉛ナノ粒子の発光特性

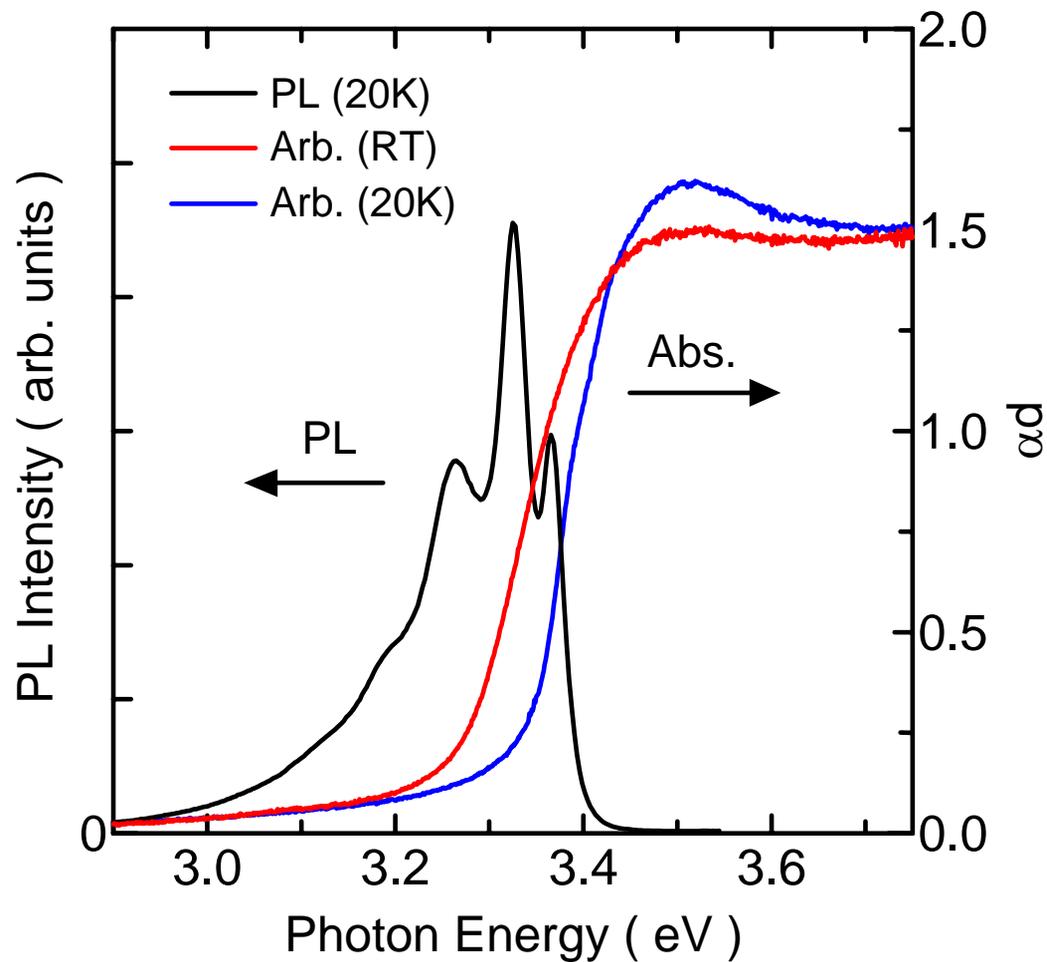


- ナノ粒子空間に閉じ込められた励起子状態の研究



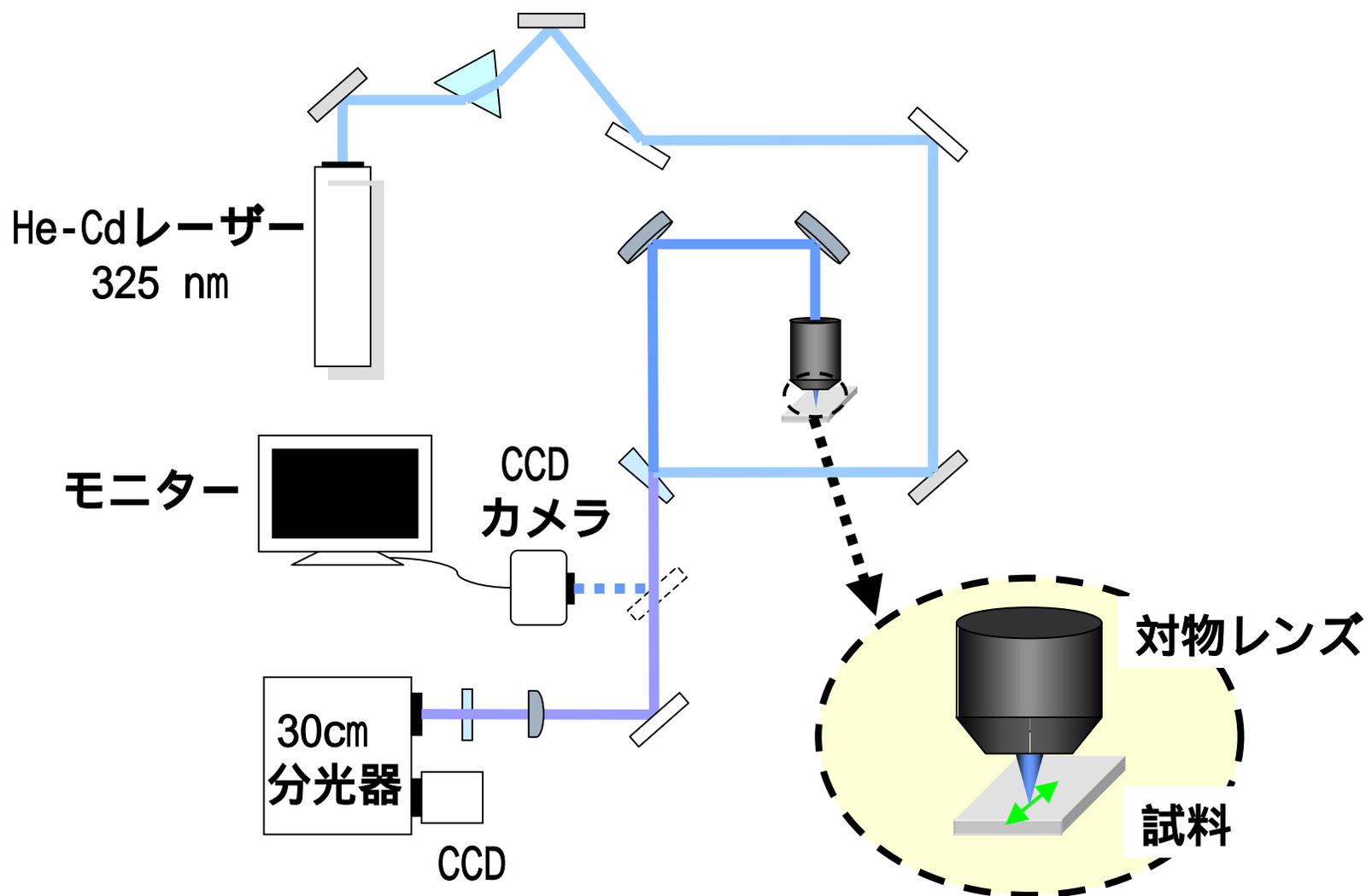
- ナノ粒子分散膜の作製と評価
- ナノ粒子分散膜の発光測定
 - 顕微分光法による単一粒子分光

吸収と発光スペクトル

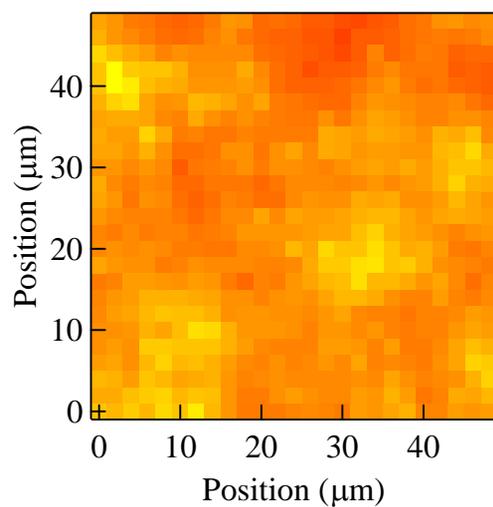


- 多数のナノ粒子からの発光が重なっている。
- 単一のナノ粒子の発光測定が必要

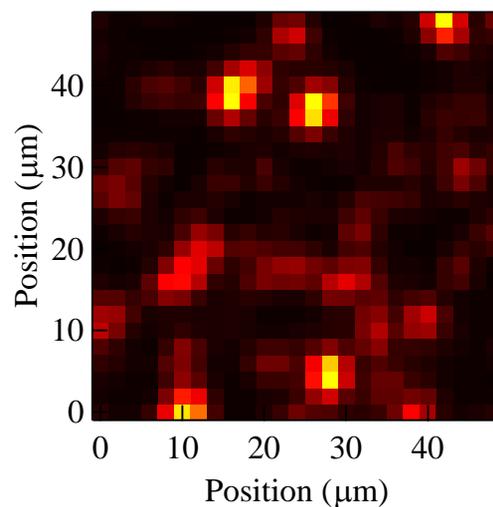
顕微発光測定システム



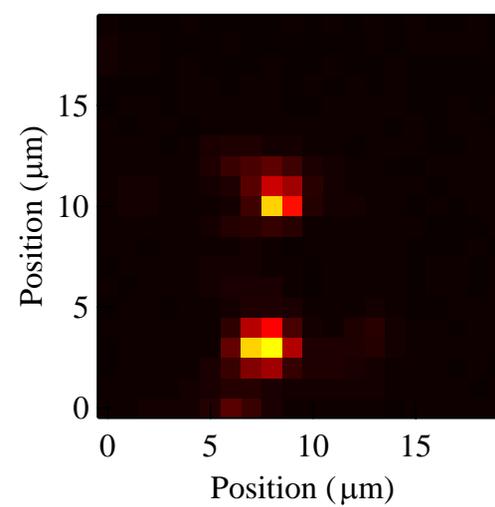
顕微分光法による ナノ粒子の発光イメージ



粒子濃度 N



$0.1N$



$0.05N$

まとめ

1. 光の吸収と発光

- ・ エネルギー、波長との関係

2. 半導体と光

- ・ バンドギャップエネルギーと発光波長

3. 半導体ナノ粒子：量子サイズ効果

- ・ サイズ 小、エネルギー 大

4. 酸化亜鉛の特徴とナノ粒子の発光特性

- ・ 単一ナノ粒子発光測定